



JOURNAL OF THE
Selva Andina
Research Society
Official Journal of the Selva Andina Research Society

Artículo Original

ISSN 2072-9294 (print edition)
JSARS
ISSN 2072-9308 (online edition)

Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 – 2014

Multitemporal analysis of forest cover using spatial remote sensing and GIS methodology in the Coroico River sub-basin-Caranavi Province in the years 1989-2014

Condori-Luna Ismael Junior^{1*}, Loza-Murguía Manuel Gregorio^{1,2}, Mamani-Pati Francisco¹, Solíz-Valdivia Hugo¹

Datos del Artículo

¹Universidad Católica Boliviana San Pablo (UCBSP). Unidad Académica Campesina Carmen Pampa (UAC-CP). Ingeniería Agronómica. Coroico - Nor Yungas - La Paz. Estado Plurinacional de Bolivia. 591 (2) 8781991.

²Departamento de Enseñanza e Investigación en Bioquímica & Microbiología (DEI&BM). Unidad Académica Campesina Carmen Pampa (UAC-CP). La Paz. Estado Plurinacional de Bolivia. +591 75214458.

***Dirección de contacto:**
Unidad Académica Campesina Carmen Pampa (UAC-CP). Ingeniería Agronómica. Campus Leahy, Coroico - Nor Yungas - La Paz. Estado Plurinacional de Bolivia. 591 (2) 8781991. Móvil. +591-72085209.

Ismael Junior Condori-Luna
E-mail address :
asaismael5@gmail.com

Palabras clave:

Teledetección,
cobertura vegetal,
uso actual de suelo,
sub-cuenca,
Caranavi,
Sistema de información geográfica,
deforestación.

J. Selva Andina Res. Soc.
2018; 9(1):25-44.

Historial del artículo.

Recibido mayo, 2016.
Devuelto septiembre 2017
Aceptado noviembre, 2017.
Disponible en línea, febrero, 2018.

Editado por:
Selva Andina
Research Society

Resumen

La teledetección es una técnica empleada para la adquisición de información (en este caso la situación de los bosques) mediante imágenes espaciales obtenidas por satélite (sensores remotos).

Posteriormente se emplean diferentes técnicas de procesamiento digital y visual en las imágenes satelitales (multi-espectral tipo Landsat), para determinar los cambios en la cubierta vegetal del suelo para los periodos de 1989-2005 y 2005-2014. El área de estudio es la sub-cuenca del río Coroico, que comprende el municipio de Caranavi.

Se empleó la metodología de teledetección espacial y Sistemas de Información Geográfica para generar los mapas de deforestación y posterior cuantificación de dicha información, que se realizó mediante el empleo de los programas ArcGIS y ERDAS. El procesamiento digital de las imágenes se realizó para identificar zonas o áreas donde no existía, o era muy escaso la cubierta vegetal en los suelos para los años 1989, 2005 y 2014. Los resultados obtenidos fueron: una disminución progresiva de las áreas boscosas, siendo más severa en el periodo 1989-2005 en contraste al periodo 2005-2014.

Con los resultados obtenidos se concluye que la pérdida del bosque mayormente es debido a inadecuadas técnicas de producción (agricultura), lo que da lugar a la migración y habilitación de nuevas áreas agrícolas en zonas donde anteriormente estaban constituidas por bosque. Este proceso que va en aumento a través del tiempo se da en altitudes que van desde los 574 a 1605 msnm en la sub-cuenca, la superficie deforestada se ha incrementado 3 veces más desde 602.05 a 1705.05 ha con una tasa de deforestación de 59.38 ha anuales de bosque que se pierde durante el periodo de 1989 a 2005 en relación al periodo de 2005 a 2014 que llega a 16.99 ha. Basado en la tendencia lineal de datos estas áreas de bosque seguirán en aumento en los próximos años.

© 2018. *Journal of the Selva Andina Research Society, Bolivia. Todos los derechos reservados.*

Abstract

Remote sensing is a technique used for the acquisition of information (in this case the situation of the forests) by means of spatial images obtained by satellite (distant sensors). Later, different techniques of digital and visual processing are used in the satellite images (multispectral type Landsat), to determine the changes in the vegetal cover of the soil for the periods of 1989-2005 and 2005-2014. The study area is the sub-basin of the Coroico River, which.

The methodology of spatial remote sensing and Geographic Information Systems was used to generate deforestation maps and subsequent quantification of this information, which was done through the use of the ArcGIS and ERDAS programs. The digital processing of the images was done to identify areas or areas where none existed, or the vegetation cover was very scarce in the soils for the years 1989, 2005 and 2014. The results obtained were: a

Key words:

Remote sensing,
vegetation cover,
current land use,
sub-basin,
Caranavi,
Geographic information
system,
deforestation.

progressive decrease of the forested areas, being more severe in the period 1989-2005 in contrast to the period 2005-2014.

With the results obtained, it is concluded that the loss of the forest is mainly due to inadequate production techniques (agriculture), which leads to the migration and habilitation of new agricultural areas in areas where previously they were forest. This process that is increasing over time occurs at altitudes ranging from 574 to 1605 meters above sea level in the sub-basin, the deforested area has increased 3 times more from 602.05 to 1705.05 ha with a deforestation rate of 59.38 ha Annual forest losses during the period from 1989 to 2005 in relation to the period from 2005 to 2014 that reaches 16.99 ha. Based on the linear data trend, these forest areas will continue to increase in the coming years.

© 2018. Journal of the Selva Andina Research Society. Bolivia. All rights reserved.

Introducción

El Estado Plurinacional de Bolivia es un país que cuenta con una gran variedad de formaciones vegetales, que van desde bosques amazónicos hasta vegetación altoandina, tiene una superficie boscosa de 50 000 000 ha, que equivale a un 44 % de la superficie total (Killeen *et al.* 1993). El Estado Boliviano congrega cuatro regiones fitogeográficas de Sudamérica según criterios de clima, altitud y geomorfología: los Andes, la Amazonía, el Cerrado y el Gran Chaco (Killeen *et al.* 1993).

Según FAO (2004), debido a la poca claridad legislativa sobre el uso de los suelos, en el año 1995 la tasa de deforestación en el Estado Boliviano aumentó, llegando a 168 000 ha, de ellas 80 000 ha correspondían a la Amazonía, que representan 2.0 % de la tasa de deforestación del total de América Latina, el promedio de la tasa de deforestación entre los años 1971-2005 fue de 140 000 ha anuales, alcanzando a 275 128 ha para el año 2004 y 281 283 ha el 2005 (Muñoz 2006). Las áreas de mayor deforestación se encuentran en las ecorregiones del bosque Chiquitano, el Gran Chaco y en los alrededores de la ciudad de Santa Cruz (Cuba 2007).

En los últimos años la deforestación es uno de los temas prioritarios en las agendas nacionales e internacionales, principalmente por sus efectos sobre la pérdida de biodiversidad, el cambio climático, la

reducción de la oferta de madera y la degradación del suelo, entre otros (Kaimowitz & Angelsen 1998).

Se estima que la deforestación en Bolivia está provocando la pérdida de cientos de miles de hectáreas de bosque por año, las causas de esta deforestación son muy complejas y varían entre las distintas regiones del país, sin embargo la ampliación de la frontera agrícola constituye la principal causa de deforestación (Pacheco 2004).

Los Yungas es una de las regiones ecológicas del departamento de La Paz, en el Estado Boliviano, con mayor valoración en términos de potencialidad de recursos, calidad escénica y de prestación de servicios ecosistémicos, los ecosistemas naturales de esta región han sido prácticamente transformados en su totalidad por la actividad humana, notándose un avance en la frontera agrícola, consecuencia de la tala indiscriminada, el sobrepastoreo y la quema para la habilitación de los terrenos para cultivos, principalmente de cítricos (*Citrus* spp.) y coca (*Erythroxylum coca*). La región de Los Yungas es una importante zona agrícola del país, que proporciona a la ciudad de La Paz parte importante de sus productos alimenticios, especialmente frutos tropicales, y también produce para la exportación de café (*Coffea* spp.), cacao (*Theobroma cacao*), té (*Camellia sinensis*) y coca (Kutchartt-Ruedlinger 2013).

Los estudios acerca del cambio del uso de suelos forestales evalúan la velocidad de la deforestación/reforestación, determinan su extensión geográfica y describen las causas sociales y económicas de los cambios, en escalas globales, regional y local (Skole *et al.* 1994, Ojima *et al.* 1994).

El análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Chuvieco 1996). Como interface entre la información espacial y el Sistema de Información Geográfica (SIG) se encuentra la fotointerpretación, que es una técnica que identifica y cuantifica áreas (objetos) de interés, como, por ejemplo, un catastro de vegetación, en que se categorizan ciertas áreas diferenciadas por un patrón de vegetación y se delimitan sus respectivas superficies. Otro campo de interés, es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), sistema basado en tecnología satelital que consiste en determinar la posición geográfica de un punto sobre la superficie terrestre. Todas estas herramientas, facilitan y optimizan los recursos económicos para mejorar la calidad y aumentar la información sobre los recursos naturales.

La teledetección ha sido una herramienta muy utilizada en la región de los Yungas. García-Lino & Palabral-Aquilera (2006), se han elaborado mapas de vegetación, caracterizando comunidades vegetales, como unidades naturales según su fisonomía y composición florística. El mismo autor menciona que una de las grandes utilidades que ofrece la clasificación digital de imágenes, es documentar el cambio en el uso del suelo, mediante la comparación temporal de imágenes de la misma área, como por ejemplo la deforestación y fragmentación de hábitats, entre otros. Una de las limitantes de las imágenes, está referida a la nubosidad, ya que en muchas

ocasiones la presencia de nubes impide identificar el uso de los suelos.

En la teledetección es posible clasificar áreas de manera supervisada y no supervisada (Killeen *et al.* 2005). La clasificación supervisada está referida a un análisis visual, la cual consiste en una técnica que examina la imagen analógica, con el propósito de identificar los diferentes componentes del paisaje, basándose en criterios visuales de tono, color, textura. (Mena 2005). Esto es posible realizarlo con herramientas disponibles gratuitamente en la red. Una de estas herramientas es el Google Earth, que permite al usuario navegar libremente por cualquier lugar de la Tierra, observando detalladamente sus territorios a distintas escalas, basándose en datos y fotografías reales. Una desventaja del análisis visual es el fatigoso trabajo humano y el tiempo empleado, sin embargo, el costo de realizar éste es menor, que en un análisis digital (Mena & Ormazábal. 2001).

Ahora bien, el aumento poblacional demanda una mayor producción de alimentos, esto conlleva a la habilitación de nuevas áreas para el establecimiento de cultivos, lo que origina el desmonte y quema de la cobertura boscosa. Por lo tanto, es necesario hacer un seguimiento a la superficie que ocupan estos procesos, a fin de contar con información que nos permita estar al tanto de algún tipo de tendencia.

Dicha información no se encuentra disponible en el lugar (Caranavi). Es por ello que se realizó el presente trabajo de investigación, que abarca la sub-cuenca del río Coroico. Se consideró la ciudad de Caranavi y comunidades aledañas a esta en la delimitación de la sub-cuenca, puesto que los alrededores inciden de cierta forma en el área urbana (por ejemplo en cuanto se refiere a la disponibilidad del agua, deslizamientos de suelo a causa de las actividades realizadas previo al establecimiento de infra-

estructura en lugares con pendientes pronunciadas, otros).

Por lo anterior el objetivo de la presente investigación fue analizar multitemporalmente la cobertura boscosa con el empleo de la metodología de teledetección espacial y sistema de información geográfica en la sub-cuenca del río Coroico, provincia Caranavi.

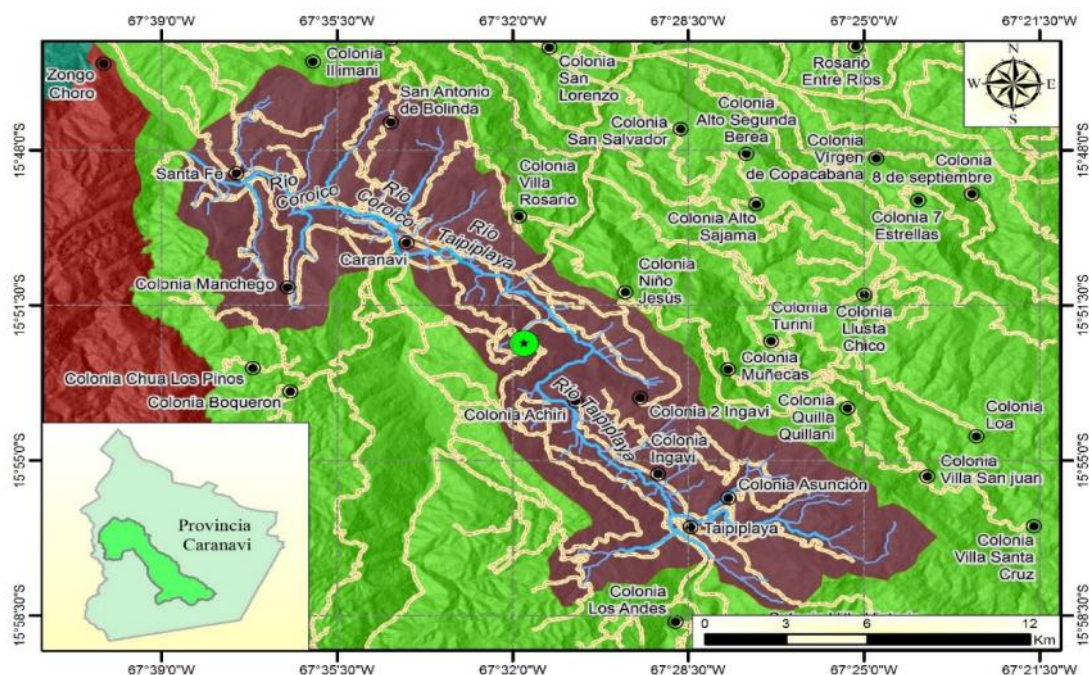
Materiales y métodos

Localización de la investigación. El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la sub-cuenca

del río Coroico, bajo una superficie total de 2 119 894 ha, se encuentra ubicado en Latitud 15° 52' 22" Sur y Longitud 67° 31' 47" Oeste, que pertenecen a la jurisdicción territorial que comprende la Provincia Caranavi, Departamento de La Paz (Figura 1).

La provincia Caranavi se encuentra ubicada en el departamento de La Paz, tiene una extensión de 2417 km² con una población según el censo 2012 de 48 513 habitantes, con una tasa de crecimiento intercensal 2001-2012 del 1.1%. (HAMC 2010, INE 2012).

Figura 1 Mapa de ubicación de la zona de estudio



Caranavi fue creada por Decreto de Ley N° 1401 el 16 de diciembre de 1992, siendo la vigésima Provincia del departamento de La Paz, conocida también como “Capital Cafetalera de Bolivia” o “La Puerta a la Amazonía” (HAMC 2010).

La precipitación pluvial anual varía desde 1000 mm a 2500 mm y la evaporización por transpiración real se calcula entre 800 mm a 1200 mm. Con tempera-

turas que van desde los 20 °C a 32 °C, siendo los meses más calurosos de octubre a diciembre. Tiene una humedad relativa que oscila de 70% a 80% (HAMC 2010).

El territorio del municipio de Caranavi presenta una topografía muy accidentada, sus elevaciones influyen en gran manera en el comportamiento climático del sector, aspectos que se hacen notables al

presentarse una variabilidad en los ecosistemas y la diversidad natural (HAMC 2010).

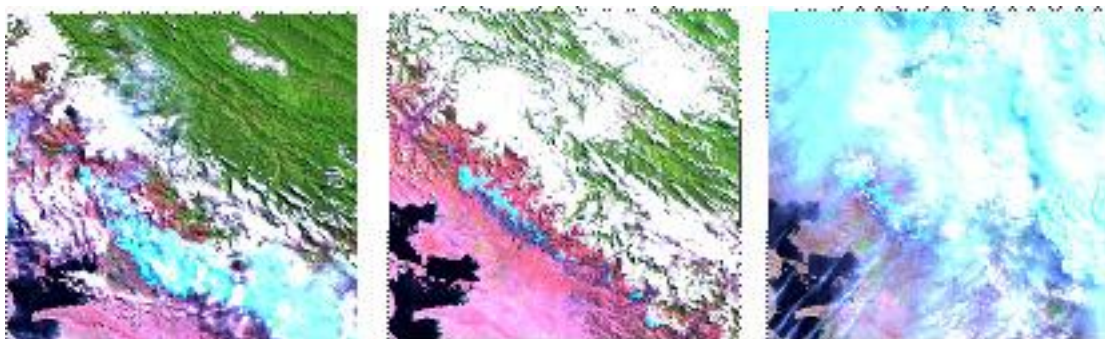
La unidad de análisis del presente estudio fue la sub-cuenca del río Coroico, ubicado en el área central de la provincia Caranavi.

En el presente trabajo de investigación se obtuvo las imágenes del satélite Landsat para los años 1989, 2005 y 2014, correspondientes a las fechas de ad-

quisición del 7 de agosto, 27 de agosto y 15 de septiembre respectivamente.

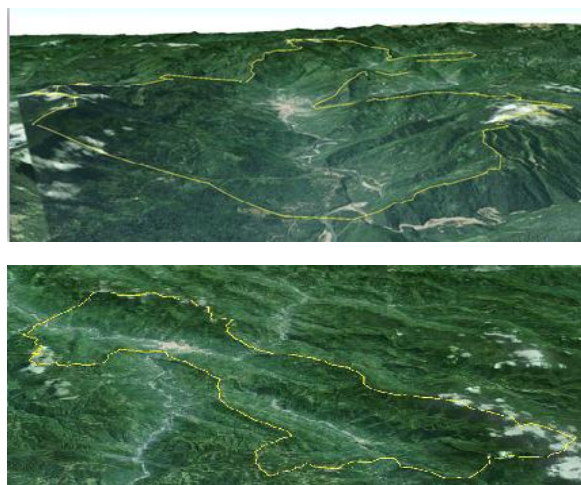
Posteriormente obtenidas las imágenes satelitales para el estudio, se realizó un análisis visual para ver el estado de estas, puesto que generalmente resultan inapropiadas en algunos casos por la nubosidad que presentan (Figura 2).

Figura 2 Selección de imágenes



Se utilizó el sistema de coordenadas WGS-84, UTM (Universal Transversal Mercator), debido a que generalmente se trabaja con este tipo de coordenadas en la actualidad, permitiendo además la medición de longitudes, áreas y perímetros.

Figura 3 Delimitación del área de estudio en Google Earth



Geo-referenciación. Se realizó mediante los datos obtenidos con GPS (tipo vectorial), con el que se procedió a la ubicación de puntos de control (homólogos) para la rectificación de las imágenes satelitales. Todo ello se realizó en el software ArcGIS.

Para la localización espacial de los archivos raster, se designó el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM).

Delimitación de la sub-cuenca del río Coroico. Se procedió a la demarcación de la sub-cuenca del río Coroico, mediante la realización de un polígono en el programa de Google Earth Pro, teniendo en cuenta para ello los lugares topográficos de máxima altura (Figura 3).

Corte de imágenes. Las imágenes obtenidas para el presente estudio presentan un área total por escena de 185 km de ancho y 185 km de largo, que no específicamente se trabajara con ella. Se realizó un corte a estas, siendo necesario solamente la sub-

cuenca del río Coroico, ubicado en el área central de la provincia Caranavi (Figura 4).

Figura 4 Corte en las imágenes tipo Landsat

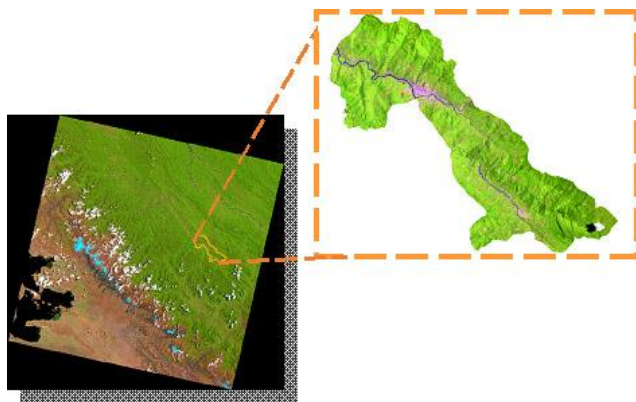
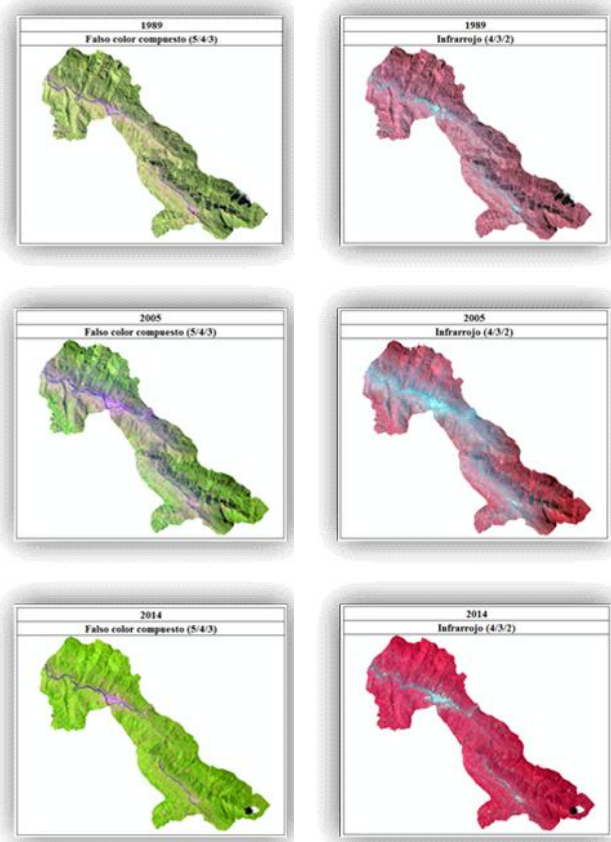


Figura 5 Composición de bandas satelitales

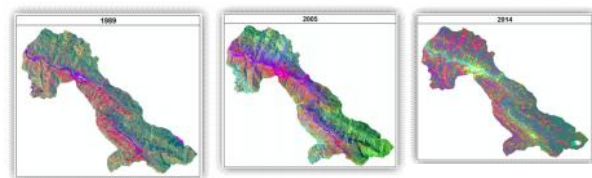


Análisis visual. Para el presente propósito investigativo, se emplearon las siguientes combinaciones de bandas (Figura 5): 4/3/2. Infrarrojo. Combinación

que destaca la biomasa vegetal. 5/4/3. Falso color compuesto. Este tipo de combinación, nos muestra una mejor discriminación (diferencia) de redes hidrográficas, vegetación, entre otros.

Análisis de componentes principales (ACP). Este procedimiento permite una vista más favorable en la geo-información, con respecto a áreas de tipo “no bosque”, los cuales están constituidos principalmente por la ausencia de cobertura vegetal sobre la superficie del suelo, permitiendo así un análisis visual más preciso.

Figura 6 Análisis de Componentes Principales para una mejor discriminación de coberturas



Es necesario aclarar que la presente técnica utilizada (ACP) permite obtener una síntesis de la información obtenida en la imagen compuesta por diferentes bandas, generando como resultado en una primera instancia colores definidos por el sistema (Figura 6), siendo convenientes cambiar dichos colores por otros que permitan realizar un mejor análisis en las imágenes.

Tabla 1 Polígonos correspondientes a superficies deforestadas

Años	Polígonos totales
1989	986
2015	1194
2014	1411
Total	3591

Delimitación de áreas sin cobertura vegetal. Posteriormente, se realizó la delimitación mediante la poligonización de áreas donde no presentaban algún tipo de cubierta vegetal, en las distintas imágenes

satelitales correspondiente a los años de estudio. Al mismo tiempo, para lograr este propósito se utilizaron las combinaciones de bandas anteriormente expuestas y el ACP (Figura 7, 8 y Tabla 1).

Figura 7 Diagrama de flujo empleada en deforestación

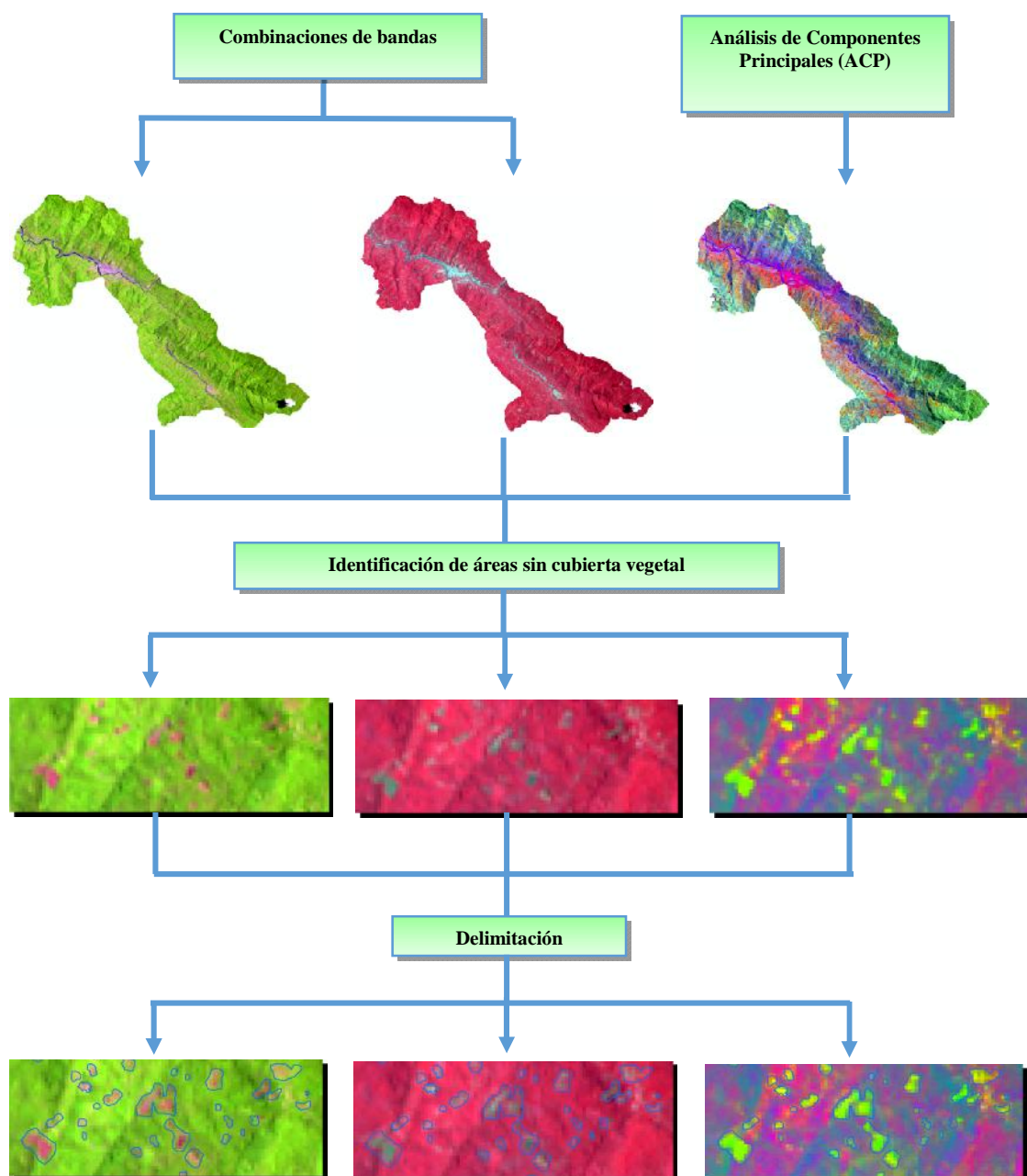

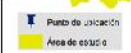
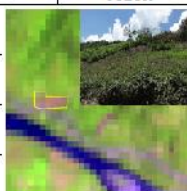
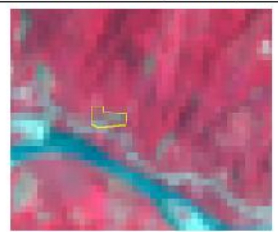
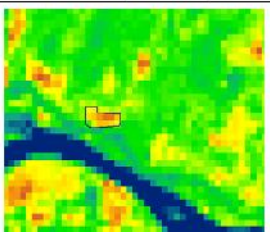


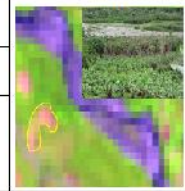
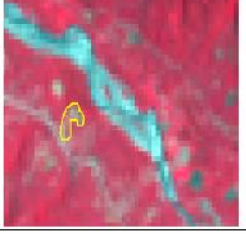
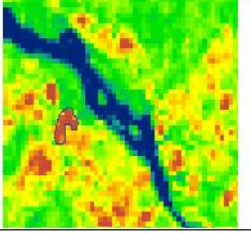


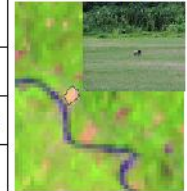
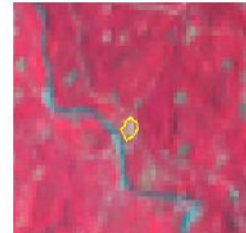
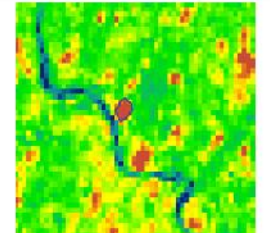


Figura 8 Ejemplo de claves de interpretación para áreas deforestadas

CATEGORÍA	Cultivos (plantíos de cítricos).	COORD. X: 609451; Y: 8250445
UBICACIÓN	Municipio de Cananari, Comunidad Santa Fe.	
ELEVACIÓN	642 m.s.n.m.	
ELEMENTOS DE INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN LA IMAGEN	LOCALIZACIÓN DE LA IMAGEN TERRESTRE Y FALSO COLOR
TONO-COLOR	Café con manchas de color morado y gris.	
PATRÓN	Difuso, denso y posterior establecimiento del cultivo.	
CONTEXTO	Colindante al camino carretero y río, rodeado por vegetación.	
SUPERFICIE	1,21 ha.	
IMAGEN LADSAT, ESCALA 1:20 000 Combinación de bandas espectrales 4, 3 y 2		IMAGEN LADSAT, ESCALA 1: 20 000 Análisis de Componentes Principales
		

CATEGORÍA	Cultivos (plátanos).	COORD. X: 609451; Y: 8250445
UBICACIÓN	Municipio de Cananari, Colcaba Villa Esperanza.	
ELEVACIÓN	903 m.s.n.m.	
ELEMENTOS DE INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN LA IMAGEN	LOCALIZACIÓN DE LA IMAGEN TERRESTRE Y FALSO COLOR
TONO-COLOR	Café con manchas de color rosa.	
PATRÓN	Difuso, denso y posterior establecimiento del cultivo.	
CONTEXTO	Colindante al camino carretero y ribera del río, rodeado por vegetación.	
SUPERFICIE	1,86 ha.	
IMAGEN LADSAT, ESCALA 1:20 000 Combinación de bandas espectrales 4, 3 y 2		IMAGEN LADSAT, ESCALA 1: 20 000 Análisis de Componentes Principales
		

CATEGORÍA	Herbazal.	COORD. X: 638843; Y: 8243512
UBICACIÓN	Municipio de Cananari, Colcaba Malitza.	
ELEVACIÓN	669 m.s.n.m.	
ELEMENTOS DE INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN LA IMAGEN	LOCALIZACIÓN DE LA IMAGEN TERRESTRE Y FALSO COLOR
TONO-COLOR	Grís con manchas de color rosa.	
PATRÓN	Difuso, denso y posterior establecimiento de pastizal.	
CONTEXTO	Orilla de finca colindante al camino y ribera del río.	
SUPERFICIE	0,93 ha.	
IMAGEN LADSAT, ESCALA 1:20 000 Combinación de bandas espectrales 4, 3 y 2		IMAGEN LADSAT, ESCALA 1: 20 000 Análisis de Componentes Principales
		



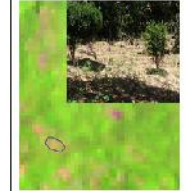
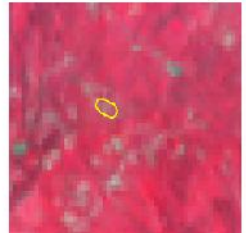
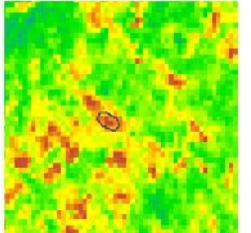
CATEGORÍA	Cultivos (Cítricos y coca).	COORD. X: 467831; Y: 8244534
UBICACIÓN	Municipio de Cananari, Colcaba Agropecuaria Vilayo.	
ELEVACIÓN	1251 m.s.n.m.	
ELEMENTOS DE INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN LA IMAGEN	LOCALIZACIÓN DE LA IMAGEN TERRESTRE Y FALSO COLOR
TONO-COLOR	Café con manchas de color rosa y gris.	
PATRÓN	Geométrico asociado a cultivos.	
CONTEXTO	Colindante al camino carretero, rodeado por vegetación.	
SUPERFICIE	1,06 ha.	
IMAGEN LADSAT, ESCALA 1:20 000 Combinación de bandas espectrales 4, 3 y 2		IMAGEN LADSAT, ESCALA 1: 20 000 Análisis de Componentes Principales
		

Figura 9 Operación Dissolve (disolver)

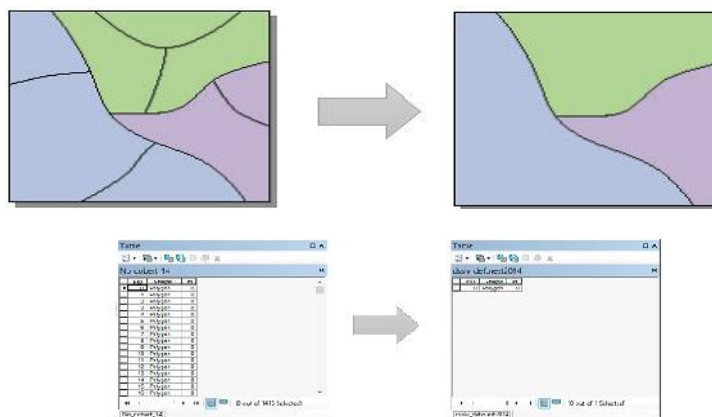
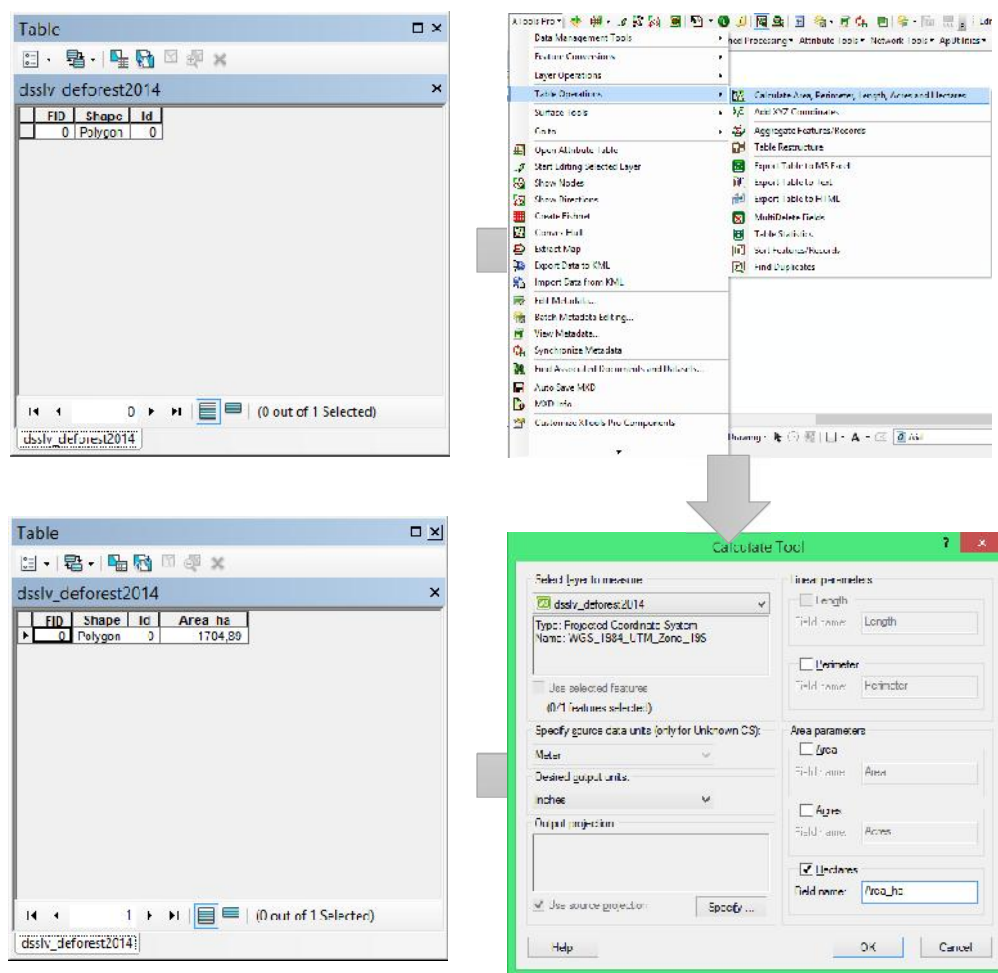


Figura 10 Cálculo de área



Dissolve. Esta herramienta permite fusionar o disolver los polígonos que tengan atributos similares. Lo cual se refiere a la agrupación de todos los polígonos delimitados anteriormente para cada año (Figura 9 y 10).

Resultados

Deforestación por años. Se procedió a la cuantificación de los resultados obtenidos, la cual se presenta a continuación (Tabla 2)

Tabla 2 Cuantificación de áreas deforestadas por año

Nr	Intervalo de elevación (msnm)		Clase	1989		2005		2014	
				Polígonos	Superficie (ha)	Polígonos	Superficie (ha)	Polígonos	Superficie (ha)
1	574	917	Muy Baja	314	241.63	289	879.05	491	892.58
2	918	1261	Baja	367	191.80	443	344.51	493	464.71
3	1262	1605	Moderada	245	134.79	379	252.43	348	287.15
4	1606	1949	Alta	53	26.46	82	75.71	74	52.73
5	1950	2291	Muy Alta	7	7.37	1	0.47	5	7.88
Total				986	602.05	1194	1552.17	1411	1705.05

Posteriormente, se realizó la regresión lineal de los datos, obteniendo así una tendencia progresiva en la disminución del bosque a través del tiempo (Tabla 3 y Figura 12).

Tabla 3 Uso de suelos 1989 2005 2014

Uso de suelos 1989			Uso de suelos 2005		Uso de suelos 2014	
Estrato	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje
Agua	128.39	0.61	145.57	0.69	134.35	0.63
Antrópico	677.72	3.20	1661.16	7.84	1814.04	8.56
Bosque	20 392.83	96.20	19 392.21	91.48	19 250.55	90.81
Total	21 198.94	100	21 198.94	100	21 198.94	100

Tabla 4 Superficie de carreteras, ríos y bosque deforestado

Descripción	Superficie (ha)		Bosque deforestado
	Carreteras	Ríos	
1989	75.67	128.39	96.20
2005	108.99	145.57	91.48
2014	108.99	134.35	90.81
Total	293.65	408.31	

Tabla 5 Cuantificación de áreas deforestadas entre periodos

Nr	Periodos	Años entre periodos	Inicial (ha)	Final (ha)	Superficie deforestada	
					Diferencia (ha)	ha/año
I	1989-2005	16	602.05	1552.17	950.12	59.38
II	2005-2014	9	1552.17	1705.05	152.88	16.99
		25	2154.22	3257.22	1103	76.37

La categorización por altura permite tener un enfoque parcial con respecto a la ubicación de las superficies deforestadas (Figura 11).

Figura 11 Distribución de áreas deforestadas según el piso altitudinal de la sub-cuenca

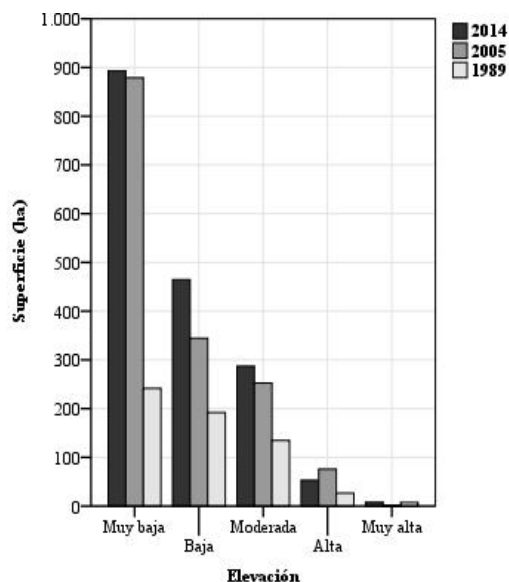


Figura 12 Tendencia lineal progresiva en la disminución del bosque a través del tiempo

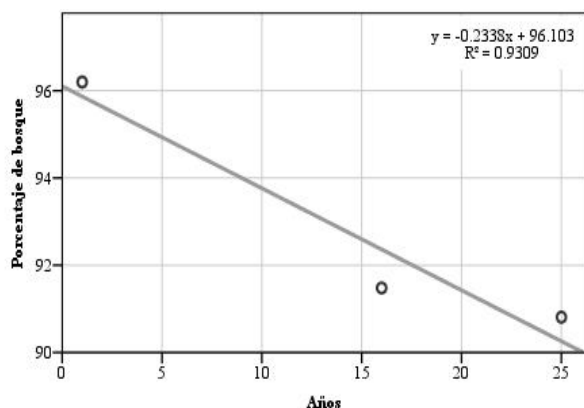


Figura 13 Cuantificación de las áreas deforestadas por periodos

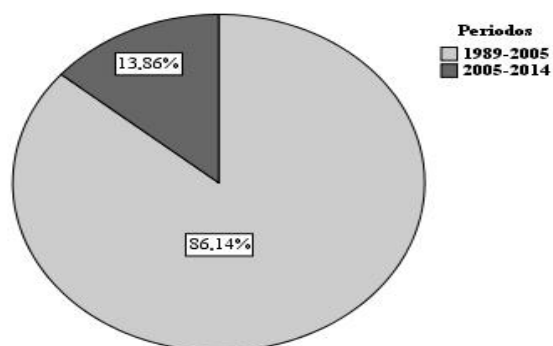


Figura 14 Cuantificación de pérdida anual del bosque

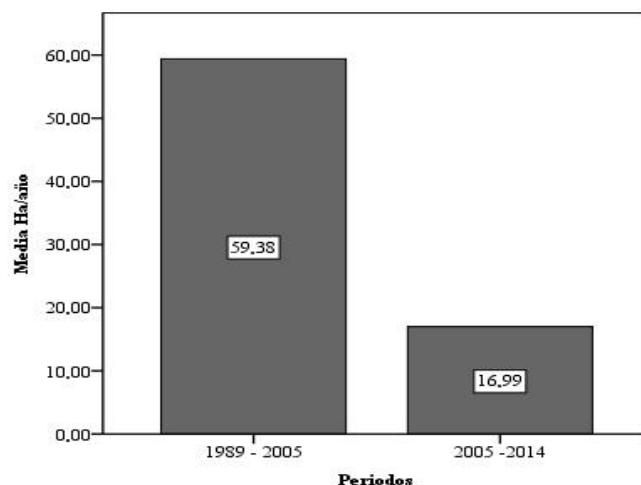


Figura 15 Deforestación del año 1989

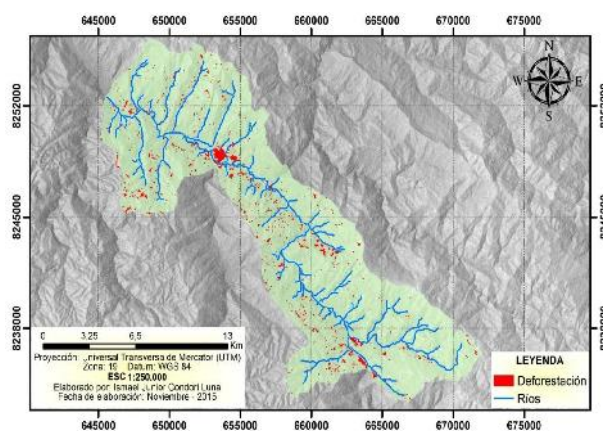


Figura 16 Deforestación del año 2005

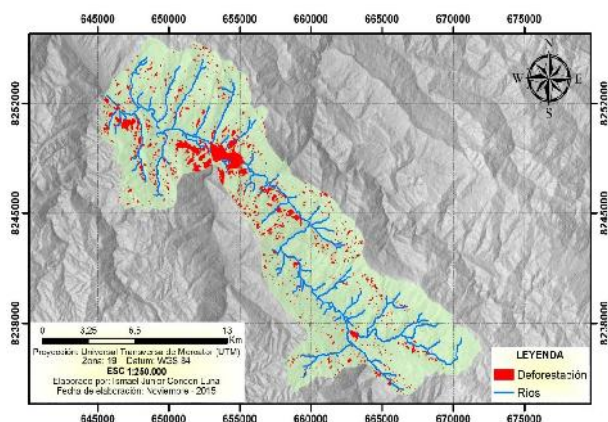


Figura 17 Crecimiento urbano durante el periodo 1989-2005

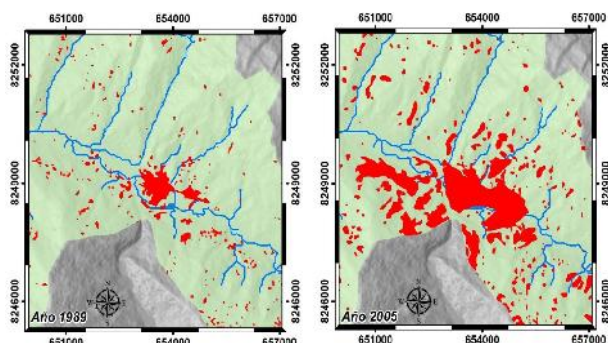


Figura 18 Proceso de deforestación en la región sur de la sub-cuenca durante el periodo 1989-2005

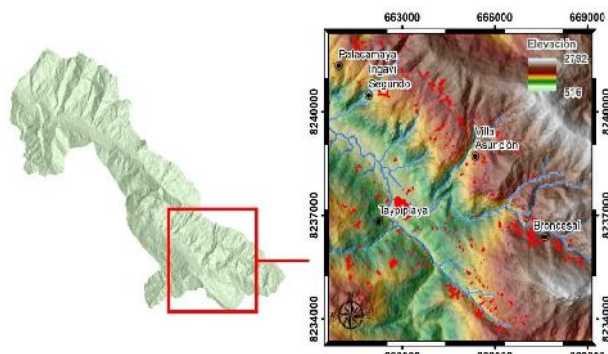


Figura 19 Proceso de deforestación en la región norte de la sub-cuenca durante el periodo 1989-2005

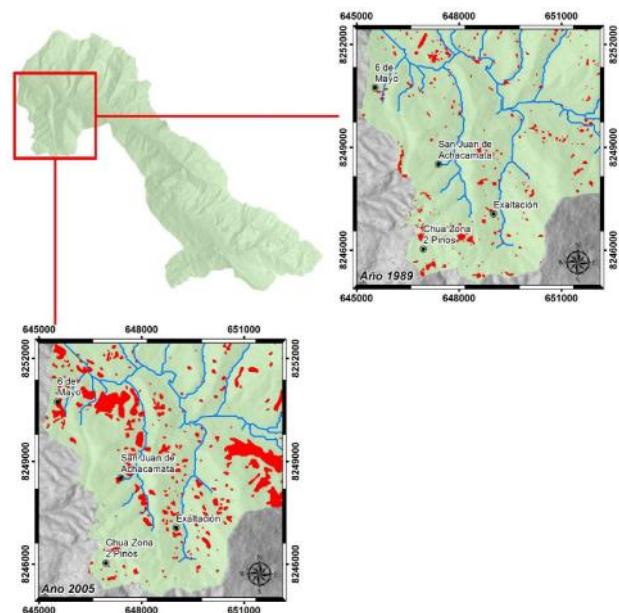


Figura 20 Proceso de deforestación en la región central de la sub-cuenca durante el periodo 1989-2005

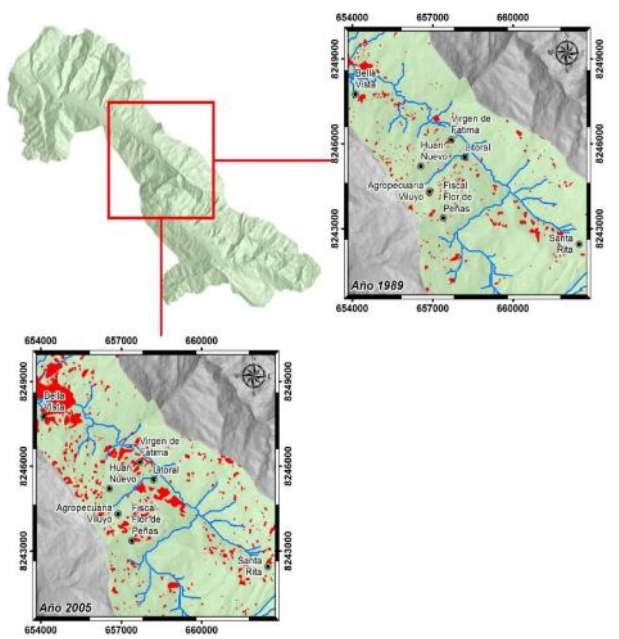


Figura 21 Deforestación del año 2014

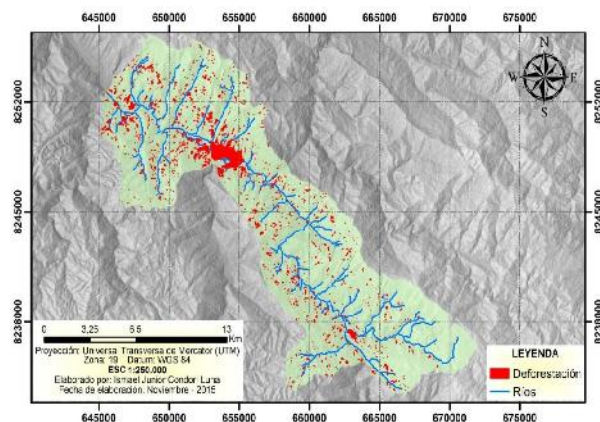


Figura 22 Proceso de deforestación en la región sur de la sub-cuenca durante el periodo 2005-2014

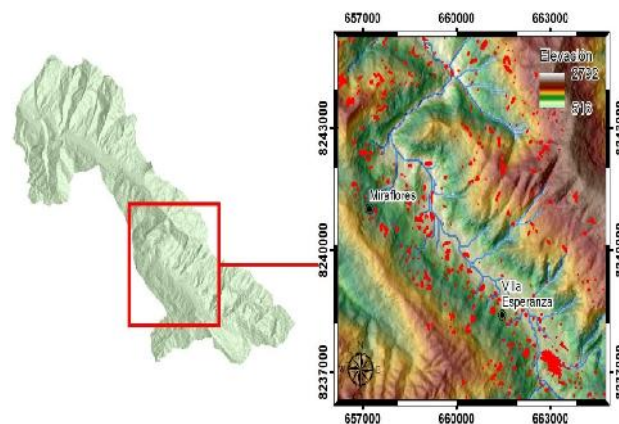


Figura 23 Proceso de deforestación en la región norte de la sub-cuenca durante el periodo 2005-2014

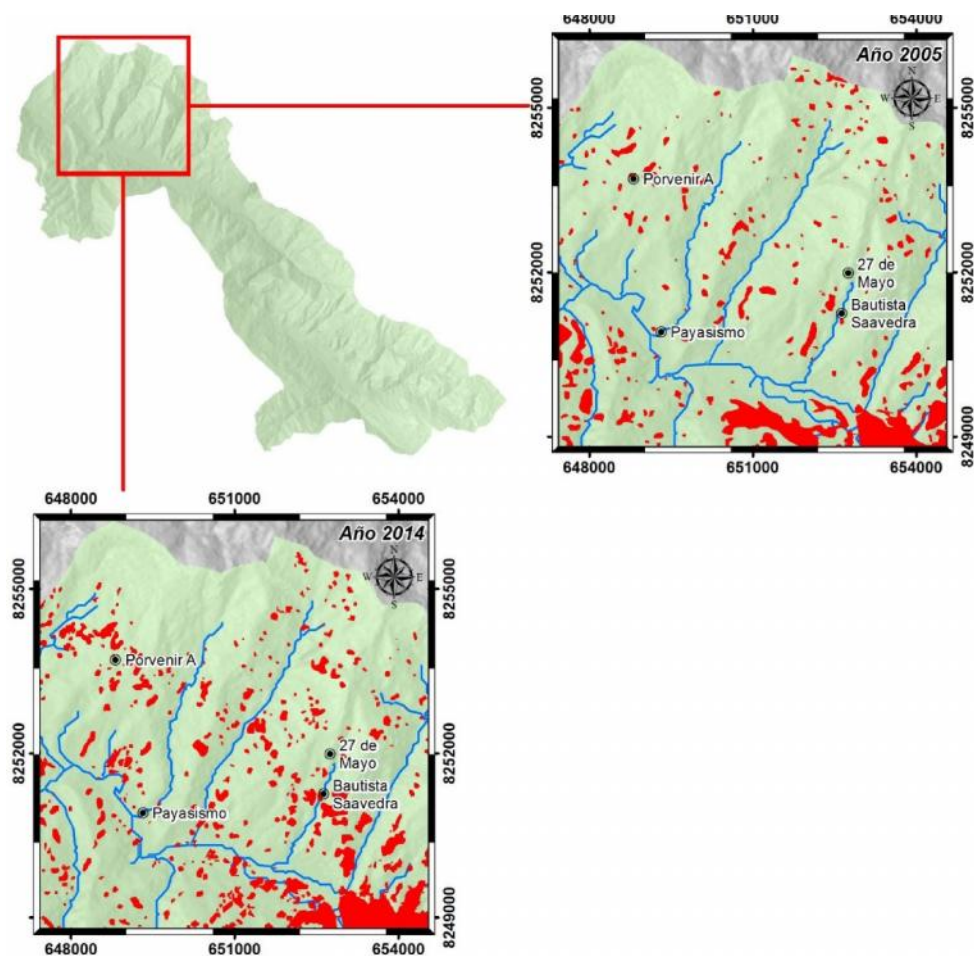


Figura 24 Proceso de deforestación en la región central de la sub-cuenca durante el periodo 2005-2014

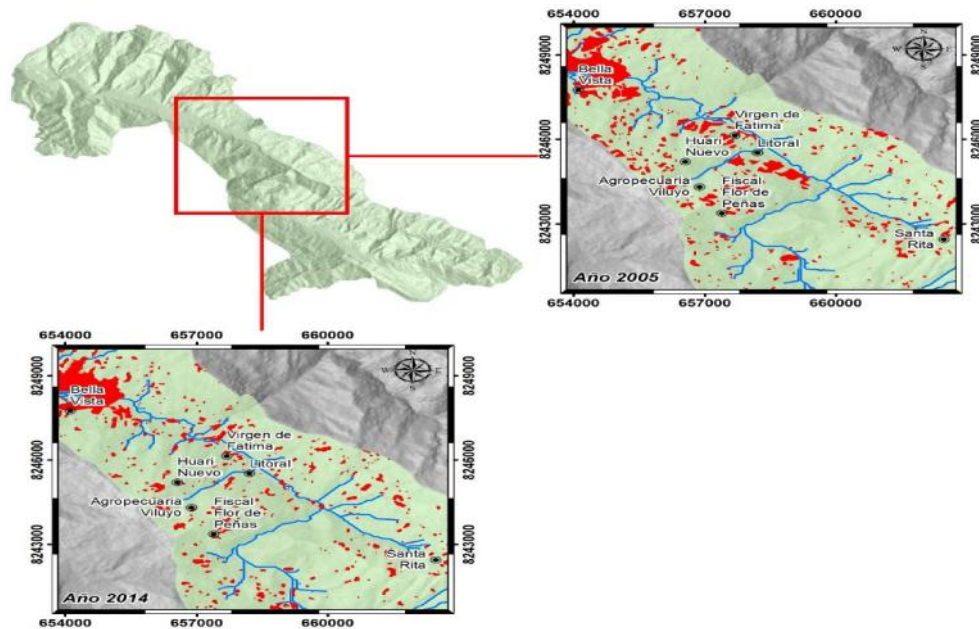


Figura 25 Esquema del proceso para la generación de clases

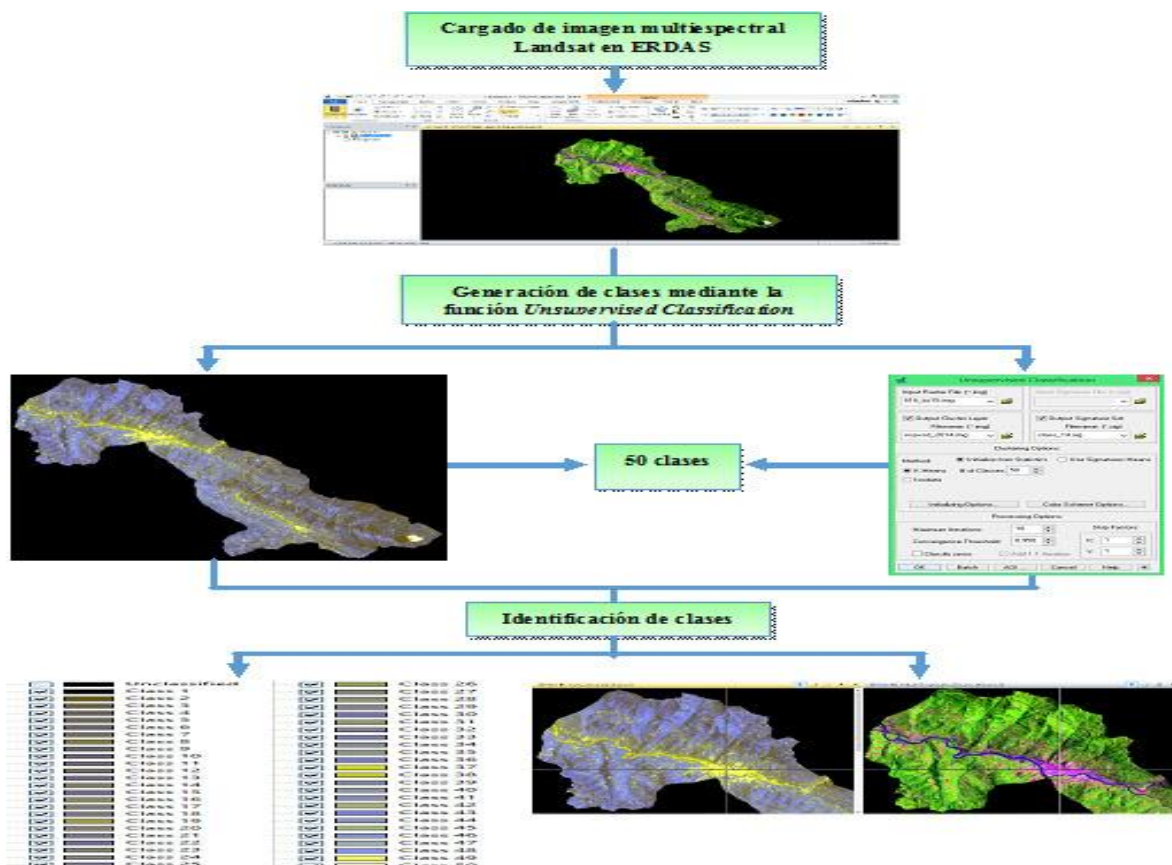


Figura 26 Operación reclassify (reclasificación)

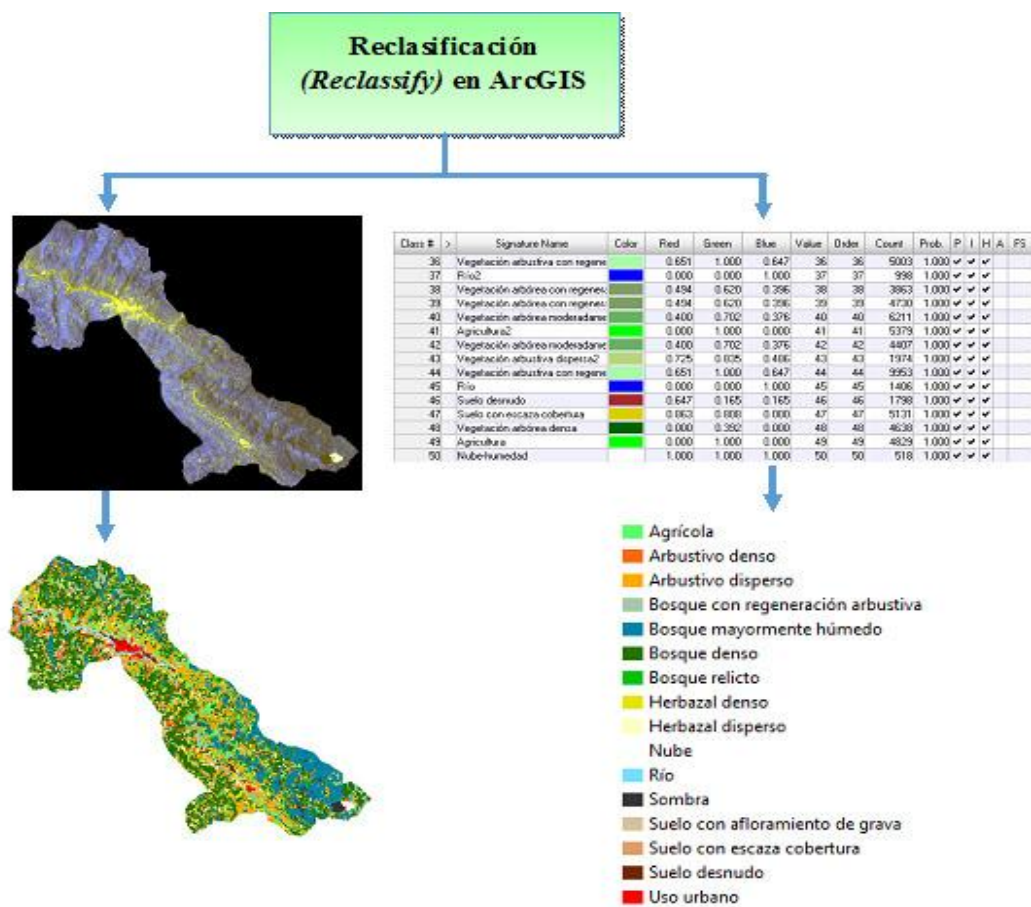


Figura 27 Uso y cobertura del suelo del año 1989

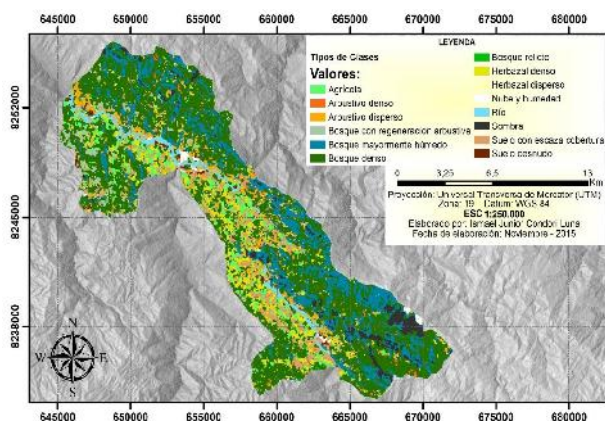


Figura 28 Uso y cobertura del suelo del año 2005

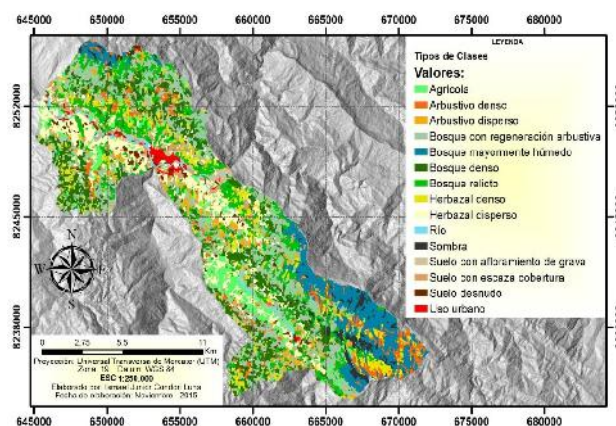


Figura 29 Uso y cobertura del suelo del año 2014

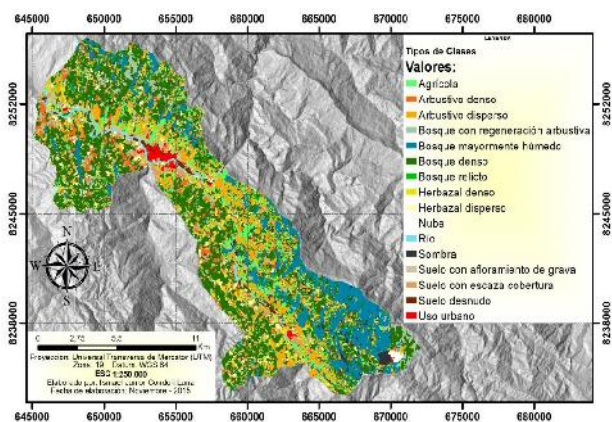


Figura 30 Adquisición de imágenes en función a la accesibilidad carretera y visibilidad de las áreas de interés



Figura 31 Chaqueo y quema en la Colonia Copacabana y Santa Rita



Figura 32 Cultivo de café “colombiano” sin sombra en la Colonia Bolinda



Figura 33 Parcela de coca en la Colonia Huari Nuevo y Agropecuaria Viluyo



Figura 34 Establecimiento de parcelas agrícolas en lugares con demasiada pendiente en la Colonia Belén y Litoral



Figura 35 Dirección de cultivos en sentido de la pendiente en la Colonia Copacabana y Corpus Cristy



Discusión

De acuerdo al análisis realizado, en la subcuenca río Coroico provincia Caranavi, es evidente en las tierras bajas tiende a existir mayores superficies deforestadas 241.63 ha, 879.05 ha y 892.58 ha para los años 1989, 2005 y 2014 respectivamente, a medida que la elevación va en aumento estas áreas se ven reducidas. (Tabla 2) Para la comprensión de la deforestación hay factores que condicionan su expansión, siendo las principales causas de la deforestación en Bolivia: agricultura mecanizada, en pequeña escala agricultura y ganadería. Categorías que explicarían en gran parte la deforestación que sucede en las tierras bajas bolivianas, similares a los adoptados en otros estudios en la Amazonía brasileña Kirby *et al.* (2006).

Las tasas de deforestación en las Tierras Bajas estaban bajas, en los años 1990 alcanzaba 5.6% de área boscosa original en la Amazonía Boliviana había sido autorizado para la agricultura y otros fines. En los años 1986 - 1990, el promedio anual la deforestación en la Amazonía Boliviana era solo 80 100 ha, o el 0.2% de la superficie boscosa (CUMAT 1992). Los resultados obtenidos se agruparon en 3 clases, correspondientes a las superficies de tipo bosque y no bosque: agua, antrópico (que corresponde a las áreas deforestadas y carreteras) y bosque (Tablas 3, 4, 5). Posteriormente, se realizó la regresión lineal

de los datos, obteniendo así una tendencia progresiva en la disminución del bosque a través del tiempo (Figura 12).

Deforestación por periodos. Se procedió al ordenamiento por periodos en los resultados obtenidos de la cuantificación de las áreas deforestadas (Figura 13 y 14).

Periodo 1989 a 2005. Durante este periodo (16 años), se observa una disminución bastante severa en la cubierta vegetal de los suelos, que alcanza las 950.12 ha. Teniendo en cuenta que existe una relación de 59.38 ha/año. (Figura 15 y 16)

Entre los principales hechos que suscitaron tene-mos. i) La explotación enérgica del recurso suelo destinado a la agricultura intensiva y extensiva, puesto que es muy notorio la reducción de coberturas boscosas en toda la sub-cuenca durante este periodo. ii) El crecimiento del área urbana de Caranavi, hasta 3 veces más de lo que era en 1989. Figura 17.

Hacia el sur de la sub-cuenca del río Coroico, en comunidades aledañas a la población de Taipiplaya (Patacamaya, Ingavi Segundo, Villa Asunción y Broncesal) la pérdida de bosques que deriva del establecimiento de parcelas agrícolas mayormente, tienden a ubicarse en lugares altos que van desde los 1300 a 1800 msnm. Figura 18.

En la región norte se tiene una pérdida en la cubierta vegetal de los suelos de 287.36 ha, principalmente se produce en las comunidades 6 de Mayo, San Juan de Achacamata, Exaltación y Chua Zona 2 Pinos, que se encuentran en una altura de 800 a 1200 msnm. Figura 19.

En la zona central de la sub-cuenca, mayormente el desmonte se da en las comunidades de Bella Vista, Virgen de Fátima, Litoral, Huari Nuevo, Agropecuaria Viluyo, Flor de Peña y Santa Rita. Se en-

cuentran a una altura de 800 a 1600 msnm. Figura 20.

Periodo 2005 a 2014. Por su parte en este lapso de tiempo (9 años), se observa una disminución moderada en la superficie del suelo con cubierta vegetal, teniendo como resultado 152.88 ha de bosque desforestado, con un alcance de 16.99 ha/año. Figura 21. Dentro las actividades transcendentales que enmarcaron este periodo fueron: El establecimiento de la planta procesadora de cítricos en Caranavi que incentivo a los agricultores del lugar a implementar o expandir en sus lotes los cultivos de cítricos, principalmente en la región de Santa Fe.

En la región sur de la sub-cuenca, las actividades que incurren a la deforestación (inadecuadas técnicas de producción, expansión de la frontera agrícola) tienden a establecerse mayormente en lugares bajos (Miraflores y Villa Esperanza) que van desde los 800 a 1300 msnm. Figura 22.

En la zona norte las actividades agrícolas principalmente se dan en las comunidades de Porvenir A, Payasismo, 27 de Mayo y Bautista Saavedra. Estas se encuentran a una altitud de 800 a 1400 msnm. Puesto que en el periodo anterior (1989 a 2005) no existían muchas áreas deforestadas por este sector. Figura 23.

En la parte central, tiende a existir una regeneración de 35.13 ha en la cobertura vegetal de los suelos en la comunidad de Huari Nuevo y poblaciones aledañas. Figura 24.

Clasificación no supervisada. En el presente trabajo de investigación se realizó la clasificación no supervisada, la cual es la más apropiada teniendo en cuenta la topografía del terreno y la flexibilidad para la agrupación en diferentes clases de estudio. Para ello se trabajó en las imágenes multiespectral tipo Landsat obtenidas anteriormente, con ayuda del software ERDAS 2014. Figura 25.

Reclasificación. Posterior a la clasificación no supervisada se procedió con la reclasificación, la cual consiste en una agrupación de clases con características similares por parte del software ArcGIS, estas según el interés de estudios a fin de obtener un resultado parcial. Figura 26.

Los mapas resultantes de este proceso, se elaboró en base a la reflectancia de los cuerpos presentes en la superficie del área de estudio (captada por los sensores pasivos), y para la identificación de estas se analizó el comportamiento de las radiaciones en cada una de las bandas. Figura 27, 28 y 29.

Trabajo de campo. Se tomaron fotografías a fin de corroborar los datos obtenidos en este trabajo de investigación, donde se observó algún tipo de actividad antrópica (agrícola principalmente) que conlleva a la pérdida de los bosques. Es conveniente mencionar, que la captura de estas imágenes se realizó en función a la accesibilidad carretera y visibilidad de las zonas, esto debido al terreno accidentado que es común del sector (Figura 30).

Observaciones visuales. Se refiere a la información que se percibe del medio y resulte ser relevante para tomarlo en cuenta. Durante el recorrido en campo se identificaron las siguientes actividades más sobresalientes: La obtención del recurso suelo para la agricultura conlleva al chaqueo y quema del bosque (Figura 31).

La actividad agrícola es la principal causa que conlleva a la disminución de los bosques, puesto que el terreno agrícola es generalmente la única fuente de ingresos del agricultor y este debe cubrir las necesidades de la familia (Figura 32).

La implementación del monocultivo de la coca conlleva a la degradación de los suelos, lo que en el tiempo da lugar a la agricultura migratoria (Figura 33).

Establecimiento de parcelas agrícolas en lugares con pendiente fuerte (izquierda 52%, derecha 41%)

(Figura 34 es común del sector, y en la mayoría de los casos no se implementan prácticas conservacionistas del suelo (como por ejemplo el uso de barreras vivas o muertas para disminuir de cierta forma la erosión de los suelos).

Asimismo, la dirección de los cultivos en sentido de la pendiente (Figura 35).

En resumen. Los mayores asentamientos, principalmente de carácter agrícola debido a inadecuadas técnicas de producción que conllevan a la pérdida de los bosques, en ambos periodos (1989 a 2005 y 2005 a 2014), mayormente se dan en las regiones bajas y moderadas de la sub-cuenca, correspondiente a las elevaciones que van desde los 574 a 1605 msnm.

Desde 1989 hasta el año 2014, las superficies deforestadas se han incrementado hasta 3 veces más de lo que era al inicio del periodo, tomando en cuenta para ello el área deforestada que va desde las 602.05 ha hasta 1705.05 ha, y la tasa de deforestación de 59.38 ha de bosque que se perdió anualmente en el periodo 1989 a 2005, siendo este el periodo más intenso a comparación de 16.99 ha de bosque que se perdió anualmente en el periodo 2005 a 2014.

Basado en la tendencia lineal de los datos, estas áreas de tipo no bosque seguirán en aumento en los próximos años. Para ello, es necesario la implementación de un plan de manejo sostenible del bosque, que permita la explotación apropiada de los recursos.

Conflictos de intereses

El presente trabajo ha cumplido las normas éticas para su publicación, financiada por los autores y no genera conflictos de interés.

Agradecimientos

A las autoridades de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa de la Universidad Católica Boliviana San Pablo, a los comunarios que viven en los alrededores de la subcuenca río Coroico, provincia Caranavi.

Al Ing. Harold Rivera Rodríguez, por la colaboración en el manejo e interpretación de los Sistemas de Información Geográfica.

Literatura citada

- Centro de Investigaciones de la Capacidad de Uso Mayor de la Tierra. Desbosque de la Amazonia Boliviana. CUMAT. La Paz; 1992.
- Chuvieco E. Fundamentos de Teledetección espacial. 3ª edición revisada. Ediciones Rialp, Madrid. España; 1996. p. 568.
- Cuba E. Análisis multitemporal del proceso de deforestación en la serranía Uchumachi-municipios de Coroico y Coripata (Nor Yungas-La Paz). [Tesis de Licenciatura]. Universidad Loyola La Paz, Bolivia; 2007. p. 145.
- García-Lino MC, Palabral-Aquilera AN. Aplicación de Técnicas cartográficas y de teledetección en la Investigación y Conservación de los Yungas Bolivianos. Proceedings of the 8th International symposium on high mountain remote sensing cartography, La Paz; 2006. p. 49.
- Honorable Alcaldía Municipal de Caranavi. Plan de desarrollo municipal de Caranavi. Información digital. Caranavi. La Paz; 2010. p. 441.
- Instituto Nacional de Estadística. Bolivia: Nota de prensa. Población por provincias y municipios, censos 2001 y 2012, tasas crecimiento intercensal; 2012. Consultado 18 nov. 2014.

- Kaimowitz D, Angelsen A. Economic Models of Tropical Deforestation. A review. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR); 1998.
- Killeen T, Siles T, Soria L, Correa L. Estratificación de vegetación y cambio de uso de suelo en Los Yungas y El Alto Beni de La Paz. *Ecología en Bolivia* 2005; 40(3): 32-69.
- Killeen TJ, García E, Beck SG. Guía de árboles de Bolivia. La Paz, Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia. Editorial del Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés; 1993. p. 958.
- Kirby KR, Laurance WF, Albernaz AK, Schroth G, Fearnside PM, Bergen S, et al. The future of deforestation in the Brazilian Amazon. *Futures* 2006;38(4):432-53.
- Kutchartt-Ruedlinger EH. Clasificación de áreas potenciales para reforestación en la serranía del Uchumachi, región Nor Yungas, departamento de La Paz, Bolivia. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Austral de Chile. 2013. p. 51.
- Mena C. Geomática para la ordenación del territorio. Serie Textos Docentes. Editorial Universidad de Talca. Talca, Chile; 2005. p. 314.
- Mena CA, Ormazábal YM. Comparación del tratamiento visual v/s el tratamiento digital de fotografías aéreas verticales en la elaboración de cartografía forestal. *Teledetección, medio ambiente y cambio global*; 2001. p. 233-236.
- Muñoz A. Apuntes de la audiencia técnica. Avances de la deforestación en Bolivia. Superintendencia Forestal. Proyecto Bolfor II. Santa Cruz, Bolivia; 2006.
- Ojima DS, Galvin KA, Turner BL. The Global Impact of Land-use Change: To understand global change, natural scientists must consider the social context influencing human impact on environment. *BioScience* 1994;44 (5):300-4.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina. Documento de trabajo. Informe Nacional Bolivia. Ministerio de asuntos campesinos y agropecuarios. Roma: Italia; 2004. p. 76.
- Pacheco P. Las fronteras agrícolas en el trópico boliviano: entre las situaciones heredadas y los desafíos del presente. Indonesia: Centro de Investigación Forestal Internacional (CIFOR), Investigador asociado, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM). Brasil; 2004.
- Skole DL, Chomentowski WH, Salas WA, Nobre AD. Physical and Human Dimensions of Deforestation in Amazonia. *Bioscience* 1994;44 (5):314-22.